УДК 621.364.634.3

БЕЗЖЕЛЕЗНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ СИНХРОТРОН СО СЛАБОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

В.А. Москалев

Томский политехнический университет
E-mail: mva@tpu.ru

Предложена конструкция синхротрона, магнитное поле которого создается без использования стального сердечника. Ускорительная камера совмещена с намагничивающей обмоткой. Описанный вариант ускорителя выгодно отличается малой массой, упрощенной технологией изготовления и сборки.

Резонансный ускоритель электронов – синхротрон со слабой фокусировкой электронного пучка представляет собой сложную электрофизическую установку, содержащую ряд крупных узлов и систем их энергетического питания. Основным элементом синхротрона является его электромагнит, создающий нарастающее магнитное поле, необходимое для обеспечения движения заряженных частиц по круговой орбите постоянного радиуса. Это так называемое «управляющее магнитное поле». Магнитопровод синхротрона изготавливается из листовой трансформаторной стали и требует высокой точности сборки и последующего монтажа электромагнита, составляемого из четырех секторов, охватывающих азимутальный угол 90° каждый. Эта система в целом является наиболее трудоемкой, технологически сложной и дорогостоящей частью ускорителя. Так, масса стали электромагнита синхротрона «Сириус» на 1,5 ГэВ Томского политехнического университета составляет 120 т [1, 2].

Управляющее магнитное поле в предлагаемой конструкции синхротрона создается с помощью одновитковых обмоток, охватывающих по азимуту четверть окружности [3].

Обмотка представляет собой две концентрически расположенные полосы из проводящего материала. У одного конца полосы соединены между собой электрически, а у другого конца подключены к источнику переменного напряжения. Электрический ток протекает в обеих полосах в противоположных направлениях.

В пространстве между полосами создается магнитное поле, используемое для обеспечения движения ускоряемых частиц по круговой орбите (управляющее поле синхротрона). Это поле должно также обладать свойством аксиальной фокусировки пучка электронов.

В ускорителях со «стальной» магнитной системой фокусировка достигается приданием магнитному полю «бочкообразной» формы с помощью увеличения зазора между полюсами электромагнитов по мере удаления от центра системы.

Для придания необходимой формы магнитному полю, создаваемому между полюсами одновитковой обмотки, эти полосы изгибаются в вертикальном направлении так, чтобы выпуклая часть полосы была обращена наружу от центра системы.

Еще одним ответственным и трудоемким элементом синхротрона является вакуумная ускорительная камера. Она склеивается из большого числа керамических криволинейных секторов, образующих дугу длиной в четверть окружности, радиус которой соответствует радиусу кривизны траектории пучка ускоряемых электронов. Четыре таких дугообразных участка, соединенные между собой прямолинейными участками (не имеющими магнитного поля), образуют замкнутое кольцо типа «рейстрек», размещаемое в рабочем воздушном зазоре электромагнита синхротрона.

Одновитковая намагничивающая обмотка своими витками – полосами непосредственно охватывает кольцевое пространство, в котором должно совершаться движение пучка ускоряемых электронов. Перекрытие верхнего и нижнего краев полос обмотки вакуумно-плотными диэлектрическими крышками делает возможным использовать обмотку также в качестве ускорительной камеры.

Схема предлагаемого синхротрона приведена на рисунке. Одновитковая намагничивающая обмотка для создания управляющего магнитного поля, состоящая из четырех аналогичных секций – 1, расположена на круговых секторных участках траектории ускоряемых частиц, каждая из которых выполнена в виде концентрически расположенных участков колец, изготовленных из медных полос – 2, 3 соединенных с одного конца электрически, а с другого подсоединенных к разноименным полюсам импульсного источника питания – 4. Полосы – 2, 3 по краям соединены между собой диэлектрическими вакуумными уплотнителями 5 и образуют четыре секторных участка ускорительной камеры. Секторные участки камеры соединены между собой с помощью прямолинейных вакуумных электронопроводов – 6, и образуют замкнутую ускорительную камеру типа «рейстрек». Для обеспечения фокусирующих свойств управляющего магнитного поля («бочкообразная» форма силовых линий поля), проводящие полосы – 2, 3 выгнуты по ширине выпуклостью наружу от центра ускорителя, рис. 1, *а*). Синхротрон содержит также инжектор – 7, ускоряющий резонатор или резонаторы – 8, вакуумные насосы – 9, размещаемые в зоне прямолинейных участков траектории ускоряемых частиц.

Использование одновитковой обмотки для получения управляющего магнитного поля и одно-

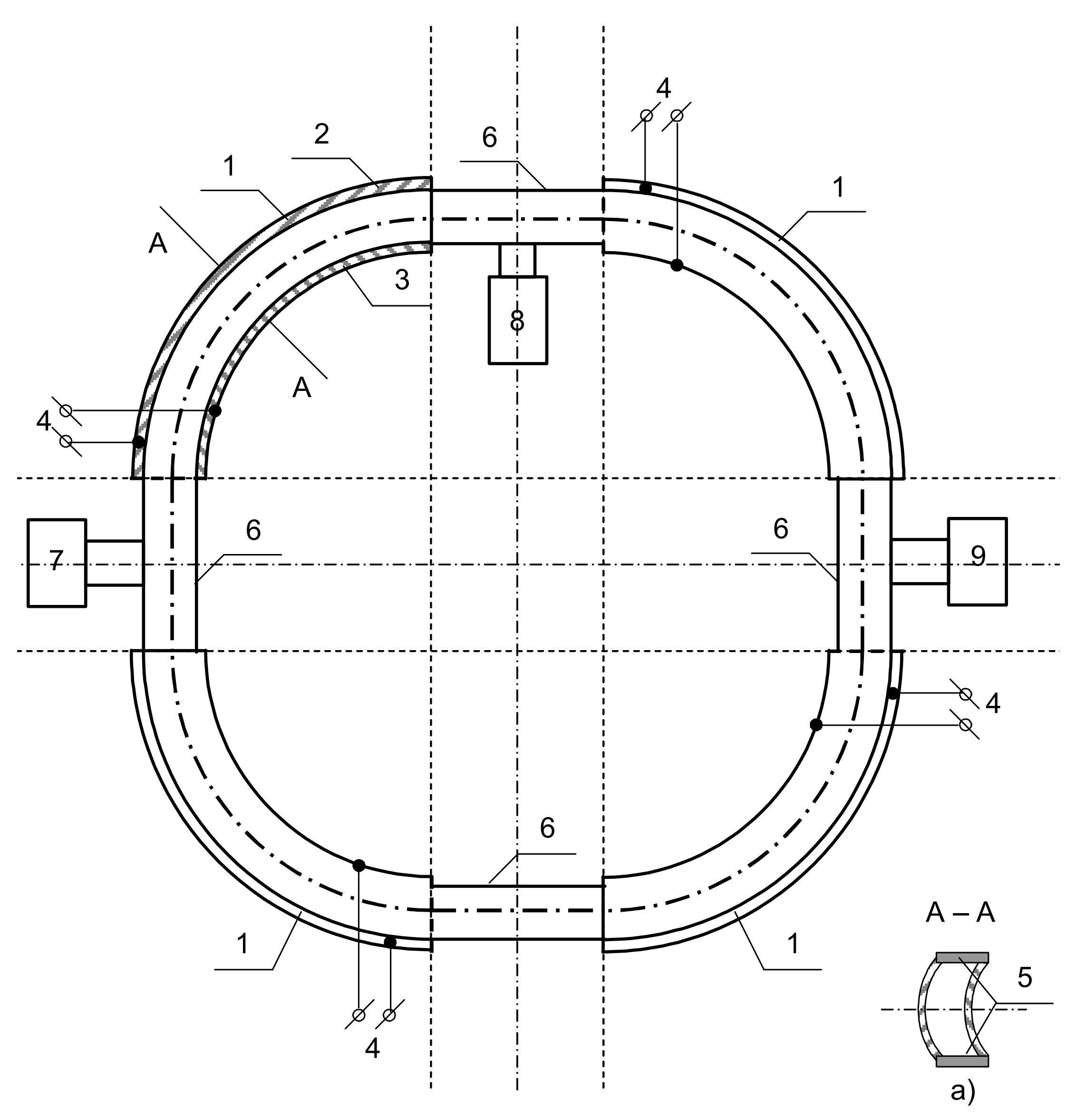


Рисунок. *Схема синхротрона*

временно для формирования ускорительной камеры позволяет полностью отказаться от стального магнитопровода, многократно облегчает ускоритель и упрощает его конструкцию, обеспечивает свободный доступ к ускорительной камере на всем ее протяжении, упрощает технологию изготовления и монтажа ускорителя и повышает удобство эксплуатации синхротрона.

При указанном соединении одновитковой обмотки, ток в обеих полосах протекает в противоположном направлениях. В результате в пространстве между полосами создается переменное, спадающее по радиусу магнитное поле. Выгнутость полос по ширине (чертежа) придает силовым линиям поля «бочкообразную» форму, характерную для фокусирующего («бетатронного») поля.

Все четыре секции одновитковой обмотки образуют единую магнитную систему синхротрона. Секции одновитковой обмотки, соединенные по краям полос – 2, 3 вакуумными уплотнителями – 5 формируют четыре криволинейных сектора ускорительной камеры, совмещаемых с намагничивающей одновитковой обмоткой.

Эти криволинейные сектора соединены между собой прямолинейными электроно-проводами и образуют замкнутую камеру, как это делается в известных синхротронах типа «рейстрек». Прямолинейные участки ускорительной камеры, свободные от магнитного поля, используются для монтажа сопутствующего оборудования – резонаторов, вакуумных насосов и т. п.

Значение напряженности управляющего магнитного поля на орбите ускорителя зависит от энергии ускоряемых частиц, и максимум напряженности поля определяется заданным значением энергии частиц, которую желают получить от ускорителя. Ввод заряженных частиц в ускорительную камеру осуществляется с помощью инжектора – 7,

ускорение частиц – с помощью резонатора или резонаторов – 8, вакуум в камере обеспечивается насосами – 9.

Таким образом, применение в синхротроне идеи одновитковой намагничивающей обмотки для создания управляющего магнитного поля (по аналогии с одновитковой обмоткой, используемой в миниатюрных индукционных циклических ускорителях [4]) в виде четырех аналогичных секций, располагаемых на круговых секторных участках траектории ускоряемых частиц, при одновременном выполнении этой обмоткой функций ускорительной камеры приводит к созданию нового типа ускорителя заряженных частиц – безжелезного синхротрона, обладающего рядом новых технических и инженерно – экономических параметров, таких как малая масса ускорителя, совмещение функций намагничивающей обмотки и ускорительной камеры в единой системе, упрощенная технология изготовления и монтажа ускорителя и пр., выгодно отличающих предложенный безжелезный синхротрон от известных ускорителей такого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный синхротрон «Сириус» // В сб.: Становление и развитие научных школ Томского политехнического университета / Под ред. Ю.П. Похолкова, В.Я. Ушакова. – Томск, 1996. – С. 158–160.
2. Воробьев А.А., Чучалин И.П., Власов А.Г. и др. Синхротрон ТПИ на 1,5 ГэВ. – М.: Атомиздат, 1968. – 160 с.
3. Пат. 2265974 РФ. МПК H05H 13/04. Безжелезный синхротрон / В.А. Москалев. Опубл. 10.02.2005, Бюл. № 34.
4. Пат. 2193829 РФ. МПК H05H 11/00. Индукционный ускоритель заряженных частиц / В.А. Москалев. Опубл. 27.11.2002, Бюл. № 33.

Поступила 21.04.2006 г.

УДК 621.384.647